

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida Dinamik

Fluida dinamik merupakan salah satu cabang tertua dari ilmu fisika dan merupakan pondasi bagi pengetahuan dan aspek lain ilmu terapan dan keteknikan (*engineering*) yang memperhatikan gerakan dan keseimbangan fluida. Ilmu ini merupakan suatu subjek yang mendasari hampir semua bidang keteknikan seperti; *mechanical engineering*, *civil engineering*, *aerospace*, *naval architecture*, *marine engineering* serta bidang-bidang lain seperti; *astrophysics*, *biology*, *biomedicine*, *plasma-physics*.

Studi mengenai seluruh aspek tingkah laku fluida kemudian dapat dibagi menjadi tiga kategori; statika fluida, kinematika fluida dan dinamika fluida. Pada kasus pertama, elemen fluida berada pada keadaan relative terhadap lainnya sehingga bebas dari tegangan geser (*shear stress*). Distribusi-distribusi tekanan statis dalam suatu fluida dan pada benda benda yang tenggelam didalam suatu fluida dapat ditentukan dari analisa statika.

Kinematika fluida berhubungan dengan studi mengenai translasi, rotasi dan rate deformasi dari suatu partikel fluida. Analisa ini berguna dalam menentukan metode yang menggambarkan gerakan suatu partikel dan dalam menganalisa bentuk aliran. Selanjutnya, perlu untuk mengadakan Analisa dinamis bagi suatu gerakan fluida untuk menentukan efek-efek fluida tersebut beserta lingkungannya terhadap gerakan.

Analisa dinamis meliputi pertimbangan terhadap gaya apa saja yang bekerja di partikel-partikel yang bergerak. Karena adanya gerakan relative daripada partikel-partikel, maka gaya-gaya geser menjadi penting dalam Analisa tersebut.

(Mekanika Fluida I, 1989)

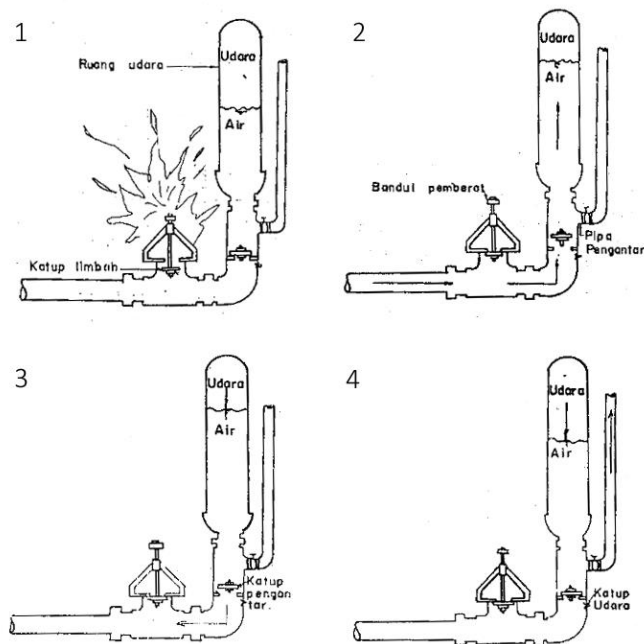
2.2 Pengertian Umum *Hydraulic Ram Pump*

Hydraulic ram pump atau bisa disebut juga sebagai pompa hidram adalah pompa yang sudah digunakan melebihi se abad, yang berfungsi untuk menaikkan air melebihi 100 meter. Pompa ini murah dan efisien untuk dipakai pada kondisi tertentu yang memenuhi syarat. Prinsip kerja dari alat ini, tekanan dinamika air yang timbul membuat air mengalir dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Penggunaan hidram tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian, tapi juga untuk menyediakan kebutuhan air untuk rumah tangga, peternakan dan perikanan.. Di daerah pedesaan pompa ini banyak digunakan untuk alat memenuhi kebutuhan air untuk kehidupan sehari-hari.

Pada kerjanya, pompa ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan pompa yang lain, yaitu tidak memerlukan energy tambahan, biaya yang murah, tidak memakai sistem pelumas, hanya memiliki 2 komponen yang bergerak sehingga meminimalisir keausan, perawatan yang mudah dan dapat bekerja dengan efisien dan dapat dibuat sendiri.

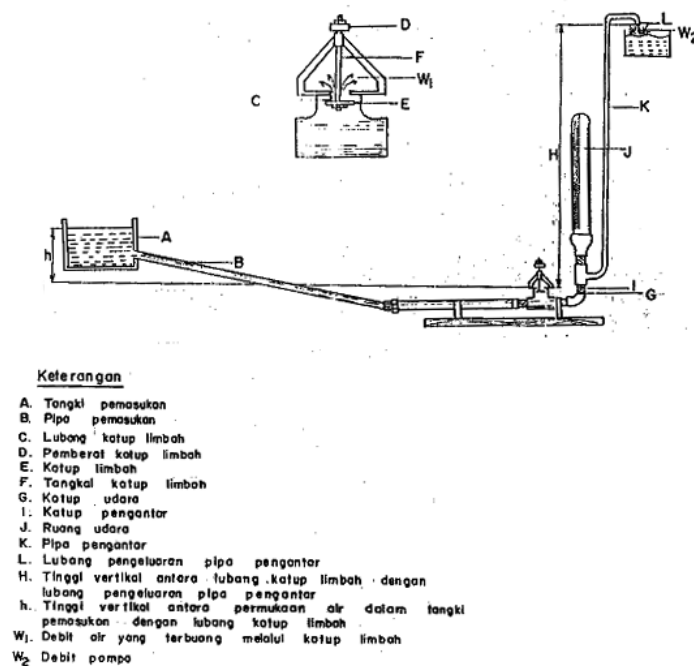
Prinsip kerja pompa hidram adalah merupakan perubahan energi atau konversi energi dari tekanan aliran air menjadi tekanan dinamik dan mengakibatkan timbulnya palu air (*water hammer*) sehingga di dalam pipa terjadi tekanan yang tinggi. Agar katup pengantar dan katup limbah tertutup secara bergantian, maka

energi dinamik dilanjutkan sehingga tekanan yang terjadi dalam pipa input mendorong air masuk ke pipa pengantar (gambar 2.1). Komponen-komponen pompa ini terdiri dari pipa input , pipa pengantar , katup pengantar, ruang udara katup limbah, dan katup udara.



(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.1: Kerja pompa hidram (*ram pump*).



(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.2: Instalasi pompa hidram.

2.3 Mekanisme *Hydraulic Ram Pump*

Air jatuh dari sumber melalui pipa input dan keluar melalui katup limbah (*waste valve*). Keluarnya air dari katup limbah cukup cepat, akan membuat katup limbah tertutup secara tiba-tiba akibat tekanan dinamik sambil menghentikan aliran dalam pipa input (*drive pipe*). Tekanan tinggi terjadi akibat aliran yang terhenti secara mendadak, tekanan dalam tabung udara akan diatasi apabila tekanan cukup besar pada katup pengantar (*delivery valve*) dengan demikian air akan menuju ke dalam *air chamber* dan seterusnya naik ke atas.

Hentakan tekanan di dalam ram sebagian dikurangi dengan masuknya air ke dalam air chamber dan denyut tekanan melompat kembali ke pipa input akibatnya terjadi hisapan di dalam rumah pompa. Akibatnya katup pengantar akan menutup

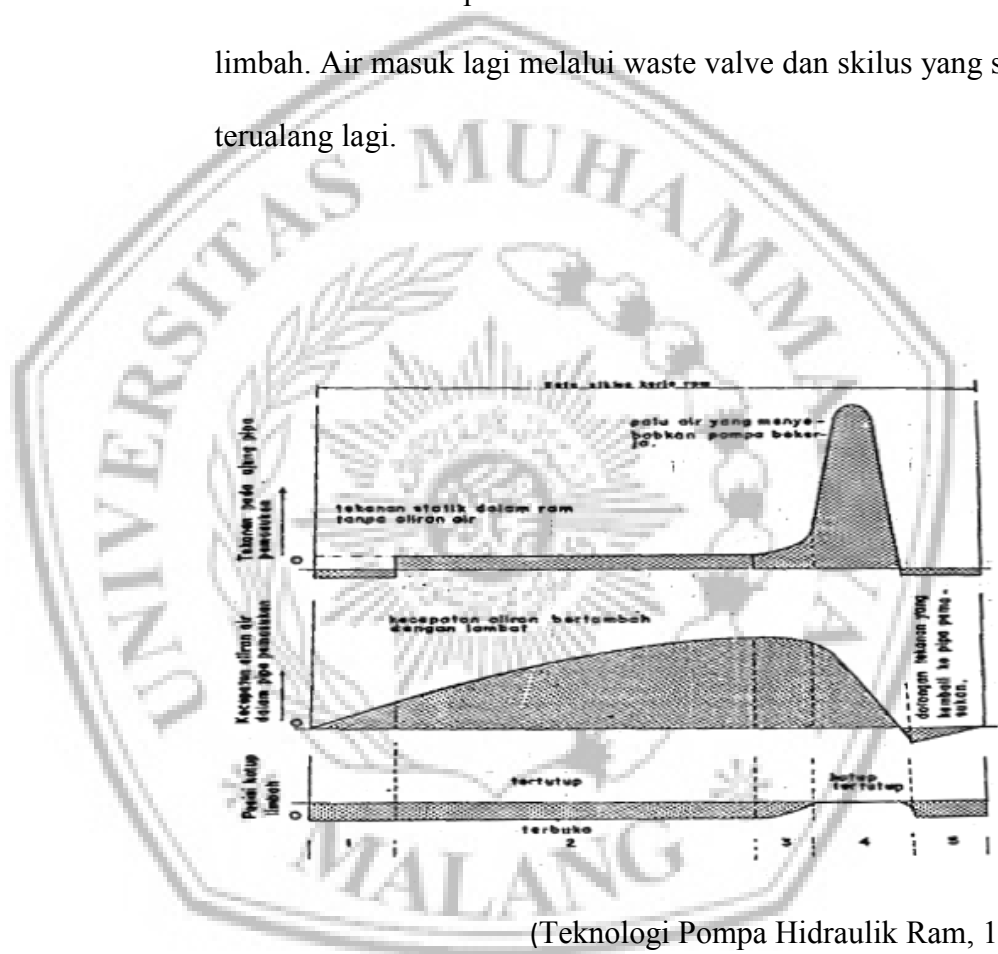
dan menghentikan aliran air kembali ke dalam rumah pompa. Waste valve akan terbuka lalu air melalui pipa input mengalir ke sumber dan akan terjadi siklus yang berulang.

Selama hisapan pada siklus udara akan masuk melewati air valve. Melalui delivery valve pada setiap gelombang air yang masuk ke dalam air chamber air masuk ke dalam ruang udara. Air chamber digunakan untuk menyamakan perubahan tekanan yang drastis pada pompa. Udara dikompresi dalam chamber dan secara berkelanjutan terjadi siklus yang bergantian dengan udara baru yang masuk, karena ada sebagian udara yang telah dimampatkan bersama air yang didorong ke luar melalui delivery pipe, dan naik ke atas.

Dengan mengatur berat katup limbah dan jarak antara lubang katup dengan lubang limbah, di harapkan hidram dapat memompa air sebanyak mungkin dan biasanya terjadi bila siklus kira-kira 75 kali tiap menitnya. Pada gambar 2.3 diperlihatkan diagram siklus yang menunjukkan satu siklus denyut tekanan dari hidram.

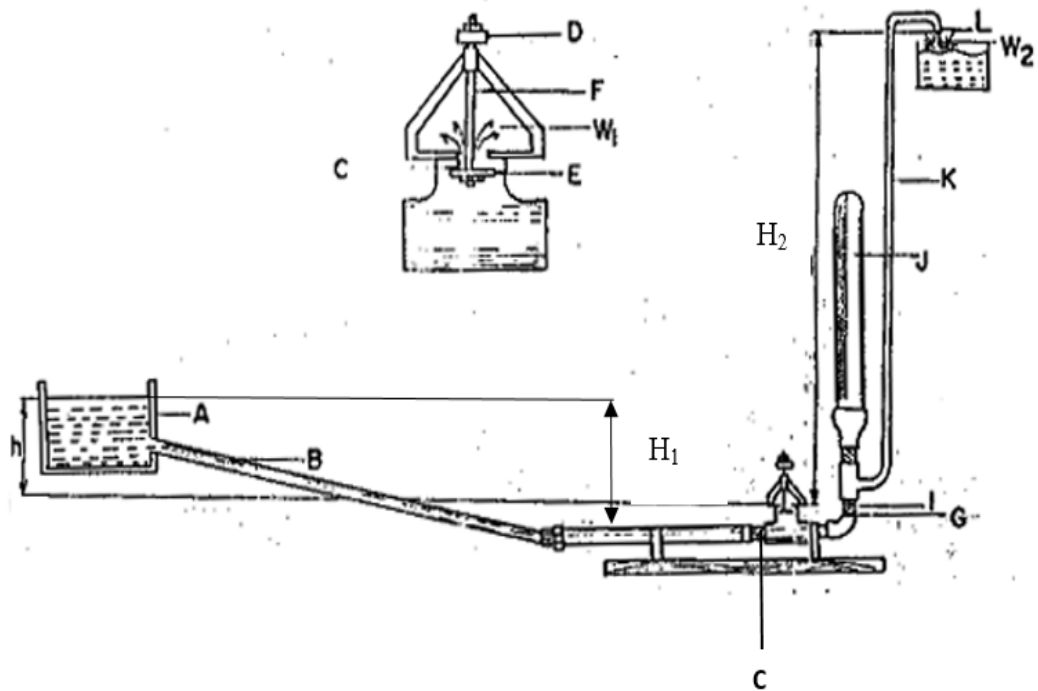
- Periode 1. Kecepatan air melalui pompa mulai bertambah, air melalui waste valve yang sedang terbuka, muncul tekanan negatif yang kecil dalam pompa.
- Periode 2. Aliran terus bertambah sampai titik maksimal melalui waste valve yang terbuka dan tekanan dalam pipa input juga bertambah.
- Periode 3. Waste valve mulai menutup mengakibatkan tekanan naik dalam rumah pompa. Kecepatan aliran mencapai titik maksimal.

- Periode 4. Waste valve tertutup, mengakibatkan timbulnya palu water hammer yang mendorong air melalui delivery valve. Kecepatan aliran pipa input berkurang secara drastis.
- Periode 5. Denyut tekanan tehentak ke dalam pipa input, mengakibatkan munculnya hisapan kecil dalam rumah pompa. Waste valve terbuka akibat hisapan tersebut dan disebabkan berat dari katup limbah. Air masuk lagi melalui waste valve dan skilus yang sama terulang lagi.



(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.3: Grafik siklus kerja pompa.



Gambar 2.4: Instalasi Pompa Hidram

Bila momentum air di ruang C hilang, katup buang E terbuka yang menyebabkan aliran air dari tangki A kembali ke awal.

Energi yang disuplai oleh tangki A

$$= WH_1 \quad (i)$$

Energi yang disuplai ke tangki L

$$= wH_2 \quad (ii)$$

Persamaan (i) dan (ii),

$$WH_1 = wH_2$$

$$w = \frac{H_1}{H_2} \times W \quad (1)$$

Dimana:

W = Berat aliran air yang mengalir dari tangki A ke dalam ruang C (kg)

w = Berat air yang mengalir dari ruang C ke dalam tangki L (kg)

H_1 = Ketinggian air di dalam tangki A di atas ruang C (m)

H_2 = Ketinggian air di dalam tangki L di atas ruang C (m)

Jika losses diperhitungkan, maka efisiensi ram dikenal sebagai D'Aubuisson Efficiency,

$$\eta = \frac{wH_2}{WH_1} \quad (2)$$

Ada hubungan lain untuk efisiensi ram (dikenal sebagai Rankine's Efficiency).

Dalam hubungan ini, diasumsikan bahwa air tersebut pada ketinggian H_1 , dan diangkat melalui ketinggian yang sama dengan (H_2-H_1) . Jadi rumus Rankine's Efficiency ram adalah :

$$\eta = \frac{w(H_2-H_1)}{WH_1} \quad (3)$$

Catatan: Ini bukan berat air di dua tangki, tapi dua debit (dari tangki A ke ruang C sebagai Q dan dari ruang C ke tangki B sebagai q) maka efisiensi ram menjadi :

$$\eta = \frac{qH_2}{QH_1} \quad (\text{D'Aubuisson Efficiency}) \quad (4)$$

Dan efisiensi Rankine yang sesuai dari relasi di atas menjadi :

$$\eta = \frac{q(H_2-H_1)}{QH_1} \quad (\text{Rankine's Efficiency}) \quad (5)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

Q = Debit Suplai (m^3/s)

q = Debit hasil pemompaan (m^3/s)

H_1 = Head Masuk (m)

H_2 = Head Keluar (m)

2.4 Karakteristik *Hydraulic Ram Pump*

Karakteristik sebuah pompa hidram yang bekerja dimana jarak antara lubang dan waste valve bernilai stabil, supply head tetap sedang tinggi pemompaan berubah-ubah. Jumlah denyutan ternyata pada katup limbah setiap menit bertambah untuk tiap tinggi pemompaan yang bertambah.

Penelitian yang telah dikerjakan, dimana supply head adalah 1,58 m dan delivery head adalah 3 meter. Hasilnya memperlihatkan begitu efektif pengadjustan pada waste valve terhadap pompa. Data yang didapat tentang pengaruh settingan waste valve terhadap denyutan katup dan nilai efisiensi dari pompa tercantum pada Tabel 1.

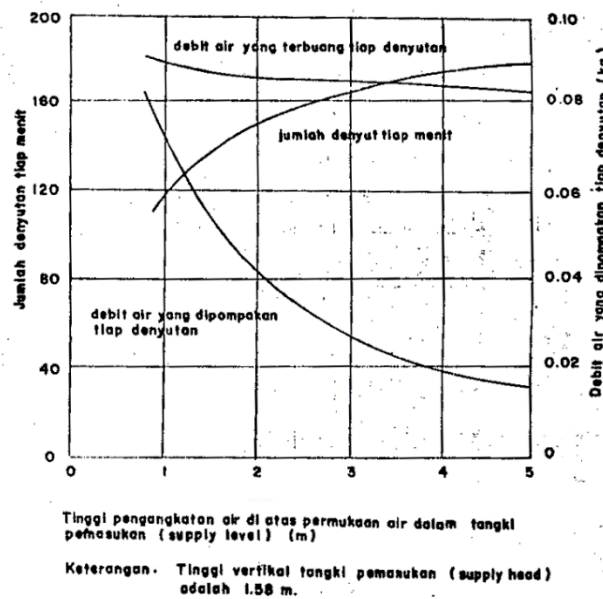
Tabel 2.1: Performa pompa hidram dari denyutan katup limbah

"Performance" hidraulik ram dengan
jarak katup limbah yang bervariasi
(menurut Addison, 1964).

Jumlah denyutan tiap menit.	Air yang terbuang (W) (kg/menit)	Debit pemompaan (We) (kg/menit)	Efisiensi	
			R ¹⁾	R ²⁾
92	32.0	7.36	0.44	0.54
110	23.6	6.28	0.51	0.61
157	13.0	4.09	0.59	0.69

1) Efisiensi "Rangine"
2) Efisiensi "D'Aubursson"

(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

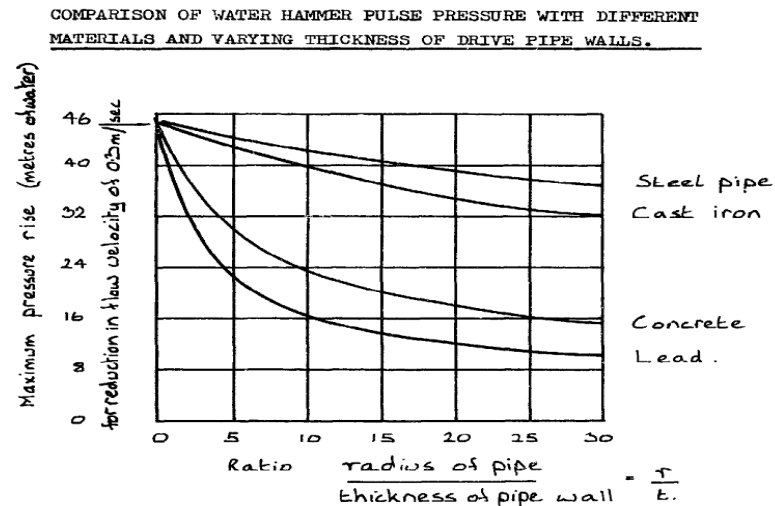


(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.5: Grafik karakteristik pompa hidram menurut Addison, 1964

2.5 Bagian-Bagian *Hydraulic Ram Pump*

Dalam konstruksi pompa hidram, ada beberapa bagian atau komponen pada pompa yang sangat menentukan bisa atau tidaknya pompa bekerja sesuai dengan syarat syarat yang ada dilingkungan pemasangan pompa. Bagian bagian pompa harus memiliki akurasi yang baik agar pompa hidram dapat bekerja dengan efisiensi yang sesuai karakteristiknya. Selain itu bahan atau material dari pompa hidram juga sangat signifikan dalam mempengaruhi efisiensi pompa, semakin kaku atau *rigid* bahan maka efisiensi pompa tidak tereduksi. Bahan yang memiliki sifat elastis dapat mereduksi kecepatan aliran air sekitar 0,3 m/s dalam kasus ini dapat menurunkan tekanan hingga 4,6 kg/cm². Grafik 2.1 menunjukkan perbandingan reduksi tekanan *water hammer* dengan berbagai macam material pipa pengantar (*delivery pipe*).



(A Manual on the Hydraulic Ram for Pumping Water, 1975)

Gambar 2.6: Perbandingan tekanan disebabkan perbedaan material

2.5.1 Pipa pemasukan (*drive pipe*)

Diameter dan panjang pipa pemasukan (*drive pipe*) sangat penting dalam mempengaruhi kinerja pompa hidram. Untuk mengetahui kualitas dimensi pipa pemasukan yang paling tepat digunakan untuk konstruksi pompa hidram maka dapat digunakan persamaan rasio dari panjang pipa (L) dan diameter pipa (D) yang mana Batasan perbandingan tersebut harus di antara 150 sampai 1000 dan juga rasio antara panjang pipa (L) dan *supply head* (H) harus bernilai di antara 3-7.

$$\frac{L}{D} = 150 - 1000 \quad (6)$$

$$\frac{L}{H} = 3 - 7$$

Visikositas air dan gesekan pada dinding pipa (*friction*) juga dipengaruhi oleh diameter pipa pemasukan dimana rasio yang hamper sama antara pipa dan volume air akan membuat visikositas air dan gesekan yang terjadi semakin membesar yang otomatis akan menurunkan kecepatan aliran air dan mereduksi effesiensi pompa hidram. Pipa pemasukan juga dapat menentukan pipa pengantar (*drive pipe*) dimana pada tabel 2 menunjukkan perbandingan antara pipa pemasukan dan pipa pengantar sesuai penelitian yang dilakukan PTP-ITB.

Tabel 2.2: Perbandingan diameter pipa pemasukan dan pipa pengantar.

TYPE	Garis tengah dalam pipa pemasukan (inci)	Garis tengah dalam pipa pengeluaran (inci).
1	1.50	0.75
2	2.00	1.00
3	3.00	1.50
4	4.00	2.00
5	5.00	3.00

(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

2.5.2 Pipa pengantar (*delivery pipe*)

Hidram dapat memompa air pada ketinggian yang cukup tinggi. Dengan menggunakan pipa pengantar (*delivery pipe*) yang panjang akan menyebabkan ram harus mengatasi geseakan antara air dengan dinding pipa. Pipa pengantar dapat dibuat dari bahan apapun, termasuk pipa plastik tetapi dengan syarat bahan tersebut dapat menahan tekanan dinamik air.

Pada tabel 3, diperlihatkan kemampuan hidram buatan John Blake dari inggris yang juga disebut sebagai “*Hydram Blakes*” dimana diameter pipa pengantar akan menghasilkan debit pompa.

Tabel 2.3: Kemampuan pompa hidram John Blake

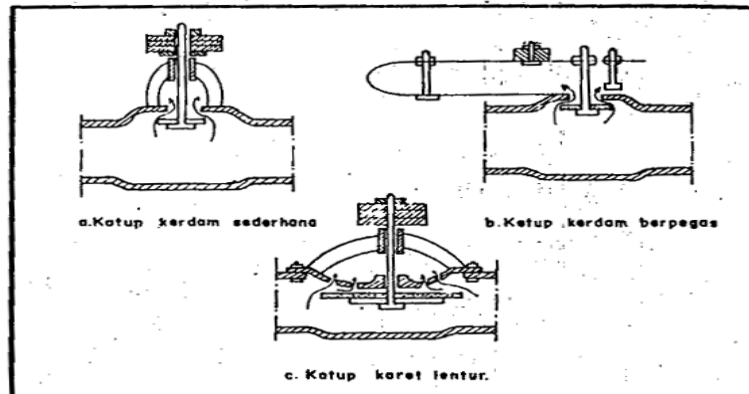
Size of Hydram (Blakes)		1	2	3	3½	4	5	6
Internal Diameter (bore)	mm	32	38	51	63.5	76	101	127
	ins	1¼	1½	2	2½	3	4	5
Supply Discharge Q _s (litres/min)	From	7	12	27	45	68	136	180
	to*	16	25	55	96	137	270	410
Maximum height to which Hydram will pump water (h _d)	metres	150	150	120	120	120	105	105

(A Manual on the Hydraulic Ram for Pumping Water, 1975)

2.5.3 Katup limbah (waste valve)

Waste valve adalah salah satu komponen penting dari pompa dan harus didesain dengan baik sehingga berat dan gerakan dapat ditentukan. Beberapa jenis katup limbah telah dikembangkan secara umum, beberapa contohnya seperti pada gambar 2.5.

Katup limbah memiliki fungsi utama sebagai penghasil tekanan dinamik air berupa water hammer yang dihasilkan ketukan mekanisme katup limbah tertutup karena terdorong air sehingga air dalam ram otomatis akan mengalami peningkatan tekanan atau *pressure rising* dan saat tersebutlah *water hamer* terjadi. Namun jika katup limbah tidak dapat merilis air setelah *water hamer* terjadi maka yang dampak pada ram adalah pemampatan ruang oleh air dalam ruang udara (*air chamber*) sehingga dapat membuat pompa hidram pecah karena kelebihan tekanan (*over pressuring*) dengan arti lain perancangan gagal (*failure design*).

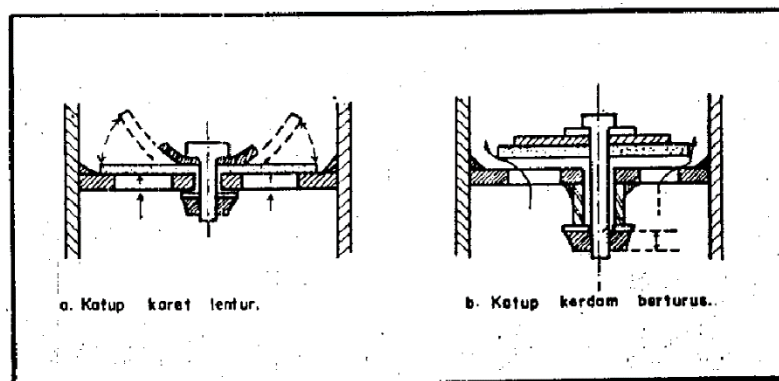


(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.7: Beberapa jenis katup limbah (*waste valve*).

2.5.4 Katup pengantar (*Delivery valve*)

Delivery valve harus mempunyai lubang yang cukup besar sehingga memungkinkan air yang dipompa masuk air chamber. Katup ini dapat dibuat dengan bentuk yang sederhana yang dinamakan katup searah (*non return*), katup ini dibuat dari karet kaku dan bekerja seperti pada katup kerdam (gambar 2.6).



(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.8: Beberapa jenis katup pengantar (*delivery valve*).

2.5.5 Ruang udara (*air chamber*)

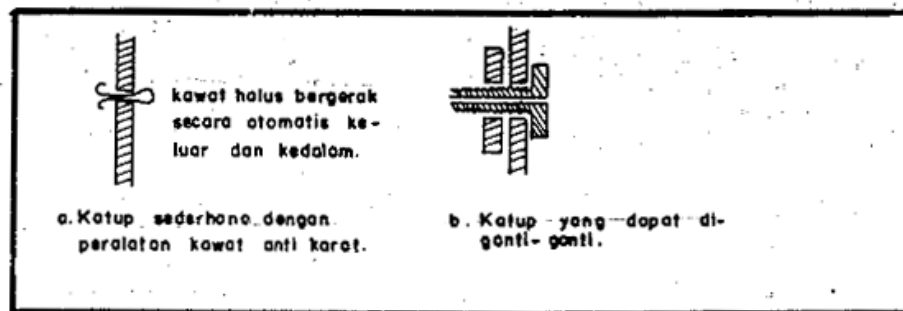
Air chamber dibuat harus sebesar mungkin untuk memampatkan udara dan mampu menahan *pressure pulse* dari siklus pompa, membuat aliran air secara tetap melalui delivery pipe dan kehilangan energi karena gesekan yang kecil.

Jika air chamber penuh dengan air, pompa akan bergetar dan dapat membuat ruang udara pecah. Jika ini terjadi pompa harus dihentikan dengan cepat. Saran dari beberapa ahli bahwa volume pada air chamber harus sama dengan air dalam delivery pipe. Delivery pipe yang panjang akan memerlukan air chamber yang besar maka dari itu sebaiknya didesain air chamber dengan ukuran yang kecil.

2.5.6 Katup udara (*air valve*)

Udara yang tersimpan pada air chamber dihisap pelan-pelan oleh turbulensi air yang masuk melalui delivery valve dan hilang ke dalam delivery valve. Udara harus diganti dengan udara yang baru melalui air valve (Gambar 2.9).

Air valve harus disesuaikan sehingga mengeluarkan semburan air yang kecil ketika terjadi denyutan kompresi. Jika air valve membuka terlalu besar, maka air chamber terisi dengan udara dan air memompa udara. Jika valve terbuka kecil sehingga memungkinkan masuknya udara yang cukup banyak maka pompa bergetar. Solusinya adalah dengan memperkecil lubang udara.



(Teknologi Pompa Hidraulik Ram, 1979)

Gambar 2.9: Katup udara (*air valve*).

2.6 Persamaan Bernoulli

Persamaan asas Bernoulli adalah perkiraan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan elevasi atau ketinggian, juga fluida yang stabil (*steady region*), properties aliran fluida tak-termampatkan (*incompressible fluid flows*). Meskipun sederhana, namun ini terbukti sangat berguna dalam pengetahuan atau subjek mekanika fluida. Kunci dari persamaan Bernoulli adalah tentang efek visikositas yang diabaikan, pengaruh gravitasi, dan tekanan yang terjadi terhadap fluida. Sejak semua fluida memiliki visikositas, penggunaan persamaan Bernoulli kemudian tidak dapat digunakan untuk semua jenis fluida. Bagaimanapun masih persamaan Bernoulli dapat digunakan di beberapa wilayah yang pasti untuk praktik tentang aliran fluida.

Aliran tak terkompresi adalah aliran fluida yang ditandai dengan tidak berubahnya besaran densitas dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Contoh fluida tak-terkompresi (*incompressible fluids*) adalah: air, minyak, emulssi, dan lain-lain

Persamaan Bernoulli untuk aliran tak-terkompresi adalah sebagai berikut:

$$P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Constan} \quad (7)$$

Di mana:

v = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

h = ketinggian relatif (m)

P = tekanan fluida (kg/m²)

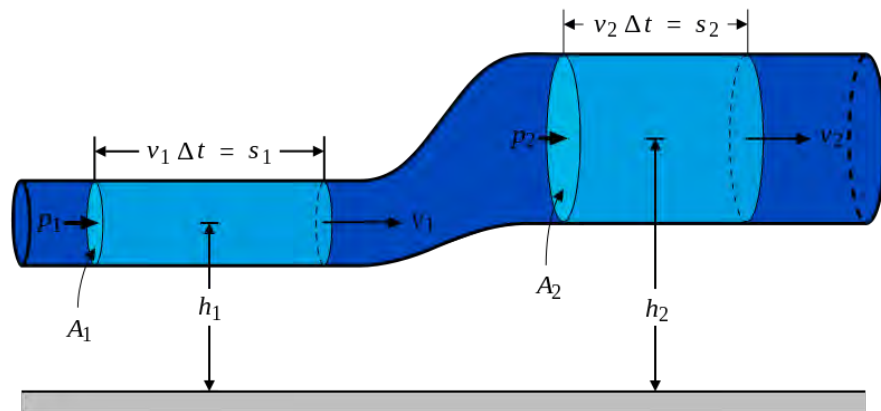
ρ = Kerapatan massa fluida (kg/m³)

Persamaan di atas berlaku untuk aliran tak-terkompresi dengan syarat sebagai berikut:

- Sifat aliran stabil (*steady state*)
- Tidak terjadi gesekan.

Dalam bentuk lain yaitu pada tekanan, tinggi dan kecepatan aliran fluida yang berbeda di saluran yang berbeda (gambar 2.10), persamaan Bernoulli dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (8)$$



Gambar 2.10: Permodelan asas Bernoulli.

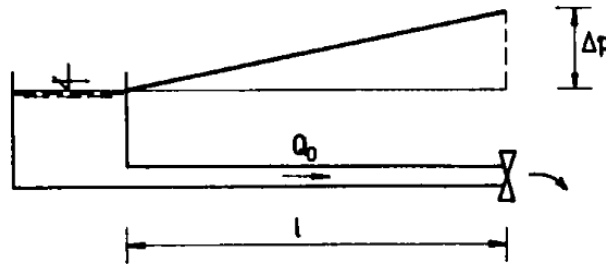
2.7 Palu air (*water hammer*)

Bayangkan dalam sebuah sistem perpipaan, pipa yang terisi fluida mengalir didalamnya. Sistem perpipaan dapat memiliki berbagai macam perangkat, seperti katup, pompa, *reservoir*, tangki, *inlet* udara, dll yang mana perangkat perangkat ini dapat mempengaruhi aliran fluida.

Aliran fluida terkhusus pada fluida tak termampatkan (*incompressible fluid*) dalam pipa dapat dalam keadaan stabil/laminar atau tidak stabil/turbulen. Pada aliran yang stabil, aliran tidak ada perubahan fenomena terhadap waktu. Tapi biasanya aliran yang memiliki beragam perubahan properti nilai tekanan dan kecepatan adalah saat aliran kondisi turbulen atau tidak stabil.

Aliran turbulen atau aliran yang tidak stabil dapat menghasilkan perubahan cepat tekanan dan kecepatan fluida (*rapid velocity and pressure changes*), fenomena perubahan cepat pada properti fluida air ini umumnya disebut sebagai palu air atau *water hammer*. Dalam fenomena *water hammer*, dapat diasumsikan beberapa pendukung penyebab dapat timbulnya *water hammer* yaitu sifat fluida yang harus bersifat tak termampatkan (*incompressible fluids*) dan kekakuan atau rigiditas bahan dari saluran pipa.

Contoh sederhana terjadinya fenomena palu air atau *water hammer* pada saat aliran fluida dari sebuah *reservoir* atau waduk mengalir pada sebuah saluran pipa horizontal. Saluran keluar pipa dipasang sebuah katup atau valve sesuai gambar 2.10.



(*Water Hammer in Pipe-Line Systems*, 1993)

Gambar 2.11: Permodelan palu air (*water hammer*)

Tekanan dan kecepatan fluida mengalami penurunan berkala sepanjang saluran pipa dari reservoir menuju saluran akhir dengan kondisi katup atau *valve* masih terbuka. Ketika katup pada akhir saluran di tutup secara tiba tiba, secara cepat tekanan dan kecepatan fluida pada saluran akhir mengalami kenaikan. Dalam hal ini, untuk menentukan angka naiknya kecepatan dan tekanan fluida dapat digunakan persamaan Joukowsky.

$$\Delta P = \rho cv \quad (9)$$

di mana:

ΔP = Tekanan (kg/m^2)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

c = Kecepatan *supersonic* fluida (m/s)

v = Kecepatan fluida (m/s)

Dimana kecepatan *supersonic* fluida terjadi saat aliran fluida terhenti oleh katup yang ditutup tiba-tiba yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kecepatan fluida dari kecepatan awal sesuai dengan jenis material pipa, modulus *bulk*

(pemampatan) fluida, dan diameter dari pipa yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho(\frac{1}{K} + \frac{D}{Ee})}} \quad (10)$$

di mana:

K = Modulus *bulk* fluida (kg/m^2)

D = Diameter pipa (m)

E = Elastisitas material pipa (kg/m^2)

e = Ketebalan pipa (mm)

2.8 Kecepatan gelombang supersonik

Kecepatan gelombang supersonic, dengan sedikit kemampuan kompresibilitas fluida *liquid* dan kekakuan atau rigiditas dari saluran pipa maka hubungan hubungan parameter ini akan membentuk suatu persamaan,

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (11)$$

K adalah modulus bulk fluida, ρ merupakan massa jenis fluida dan c adalah kecepatan gelombang supersonic yang ada selama water hammer terjadi. Tabel 4 di bawah ini adalah angka atau nilai standard dari modulus bulk, massa jenis juga kecepatan gelombang supersonik.

Tabel 2.4: Angka standar modulus bulk (K), massa jenis fluida (ρ) dan kecepatan supersonik (c)

Liquid	K (Pa)	ρ (kg m^{-3})	c (m s^{-1})
water 0 °C	1.89×10^9	1000	1375
water 10 °C	1.96×10^9	1000	1400
water 20 °C	2.03×10^9	998	1426
water 40 °C	2.18×10^9	992	1482
sea water 0 °C 3.5 % salt	2.04×10^9	1028	1408
kerosene	1.3×10^9	670–760	1307–1393
petroleum	1.5×10^9	830–840	1336–1344
oil	1.1×10^9 – 1.6×10^9	855–963	1134–1288

(*Water Hammer in Pipe-Line Systems*, 1993)

Di karenakan elastis dari saluran pipa, kecepatan gelombang supersonic dalam pipa dapat terpengaruh dan berkurang dikarenakan kurang kaku atau rigidnya pipa.

Kemudian untuk pipa yang memiliki ketebalan yang tipis, kecepatan gelombang supersonik dalam memiliki persamaan sebagai berikut,

$$c = \sqrt{\frac{K_e}{\rho}} \quad (12)$$

Di mana,

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{D}{eE}} \quad (13)$$

Di mana e adalah ketebalan dinding saluran pipa dan E adalah modulus elastis bahan dari saluran pipa. Tabel 5 memberikan angka angka standar untuk berbagai variasi modulus elastis dari beberapa material.

Tabel 2.5: Modulus elastisitas bahan pada beberapa material.

Conduit material	E (Pa)
steel	$2.0 \times 10^{11} - 2.2 \times 10^{11}$
grey cast iron	$4.4 \times 10^{10} - 1.2 \times 10^{11}$
aluminium	7.3×10^{10}
copper	1.2×10^{11}
lead	$5 \times 10^9 - 1.7 \times 10^{10}$
glass	$5 \times 10^{10} - 8 \times 10^{10}$
wood	$9 \times 10^9 - 1.3 \times 10^{10}$
rubber	$2 \times 10^5 - 6 \times 10^5$
concrete	$2 \times 10^{10} - 3 \times 10^{10}$
asbestos cement	2.5×10^{10}

(*Water Hammer in Pipe-Line Systems*, 1993)

Kecepatan gelombang supersonik untuk fluida air misalkan ($K = 1,96 \times 10^9$ Pa, $\rho = 1000$ kg m⁻³) dalam berbagai jenis material atau bahan, dapat di hitung menggunakan persamaan (7) dan (8). Tabel 6 adalah contoh hasil kecepatan gelombang supersonik khusus pada fluida air.

Tabel 2.6: Berbagai hasil kecepatan supersonik fluida air, dengan berbagai macam modulus elatisitas bahan.

Conduit material	D (m)	e (m)	E (Pa)	C (m s ⁻¹)
steel	0.04	0.01	2.1×10^{11}	1374
steel	0.12	0.01	2.1×10^{11}	1328
steel	0.40	0.01	2.1×10^{11}	1195
steel	1.20	0.01	2.1×10^{11}	961
steel	0.40	0.005	2.1×10^{11}	1059
steel	0.40	0.02	2.1×10^{11}	1285
steel	0.40	0.03	2.1×10^{11}	1320
cast iron	0.12	0.01	1.0×10^{11}	1259
asbestos cement	0.12	0.01	2.5×10^{10}	1004
rubber	0.12	0.01	1.0×10^5	2.9

(*Water Hammer in Pipe-Line Systems*, 1993)